

---

# 平成25年度瀬戸内海研究会議 瀬戸内海的环境保全・創造研究ワークショップ 開催結果の概要

---

## <テーマ>

「瀬戸内海の貧栄養化」

## <趣旨>

瀬戸内海沿岸には多くの人々が生活し、豊かな自然と共生しながら豊富な自然資源に恵まれ、瀬戸内海特有の社会・文化を形成してきた。

しかし、1960年代～80年代にかけての急速な経済発展のもと、瀬戸内海は「瀕死の海」と呼ばれるほど、海洋汚染が進行しました。このような瀬戸内海自然环境を再生するために、国や沿岸府県は「瀬戸内海環境保全特別措置法」の施行をはじめとする厳しい規制を行ってきました。その結果、瀬戸内海の水質はある程度改善されてきたが、未だに生物多様性・生産性が高い豊穡な海を取り戻すには至っていない。

このような状況の中、特定非営利活動法人瀬戸内海研究会議では、瀬戸内海環境保全知事・市長会議から委託を受け、平成23年度から3か年計画で、「瀬戸内海を豊かな里海とするための栄養塩・物質循環に関する研究」をテーマとし、企画した小課題について公募研究を行うハイブリッド方式で研究を進めている。今年度は最終年にあたることから、このワークショップでこれまでの研究成果を発表し、議論を深める場にしたい。

<日時> 平成25年11月25日（月） 13:30～16:50

<会場> 兵庫県民会館パルテホール（神戸市中央区下山手通4-16-3）

<主催> 特定非営利活動法人瀬戸内海研究会議

<共催> 瀬戸内海環境保全知事・市長会議

<後援> 兵庫県瀬戸内海環境保全連絡会、公益社団法人瀬戸内海環境保全協会

<参加者> 111名（発表者、スタッフ含む）

内訳：行政 52名（研究所含む）、独立行政法人 3名、大学 16名、  
民間企業 7名、漁業関係 19名、非営利団体 9名、スタッフ5名  
（うち研究会議会員 27名）

## ■ 開会あいさつ 13:30～13:35

特定非営利活動法人瀬戸内海研究会議 理事長（九州大学特任教授） 柳 哲雄

本日のワークショップは、3年前に瀬戸内海研究会議（以下、研究会議という）が瀬戸内海環境保全知事・市長会議（以下、知事・市長会議という）から受託した「瀬戸内海を豊かにするための栄養塩・物質循環に関する研究」の成果を皆様にご報告し、ご意見をいただいたうえで、報

告書に反映させることを目的として企画した。本日いただいたご意見に加え、来月には、府県の代表者も参加する知事・市長会議のワーキンググループが予定されており、このときの協議内容も踏まえて最終報告書を出したいと考えている。

現在、環境省では、瀬戸内海環境保全基本計画（以下、基本計画という）の見直しに係る小委員会が行われており、今後の瀬戸内海における環境保全の基本方針について討議を行っている。本日の話題となる、栄養塩をどうするか、環境保全施策として何が有効かという議論になると思うが、来年の夏までにはまとめ、基本計画の改訂となるため、我々からも提案をしていきたい。

## ■ これまでの研究経過について 13:35～13:45

特定非営利活動法人瀬戸内海研究会 顧問（広島大学名誉教授） 松田 治

この委託研究は、当初は若手研究者に対する研究助成として開始し、完全公募方式で開始した。この方法では、研究者個々の創意工夫が生かされる反面、蓋を開けるまでどのような研究かわからないということがある。また、継続性の面や施策への反映といった面についても不確実な点が多いということもあり、行政施策や計画・立案に資するためにはどのような研究を行うとよいかを検討した。2009年に、行政施策と研究をどのように結び付ければよいかというテーマでワークショップを行った結果、知事・市長会議と研究会議で調整するメカニズムを導入することとした。今回の研究は、企画研究を実施し、その内容の一部については公募を行うハイブリッド方式を採用しており、3つの小課題を整理したうえで、各課題の中で部分的な公募を行っている。本研究は今年が最終年度であり、特に何が明らかになり、何が明らかになっていないか、可能な施策は何か、必要な研究は何かといったことが大きな視点となっている。

一方、本研究と同時並行で、国でも制度の見直しが進められている。2011年には「瀬戸内海の在り方の論点整理」が行われた。この中で、水質管理から生態系管理への転換を図ること、藻場・干潟の回復、底質の回復、地域における里海の創生などがとりまとめられ、その後1年間の議論を経て、2012年10月30日付で中央環境審議会の答申が出され、本日のテーマとなる湾奥などにおける汚濁物質の蓄積や失われた藻場・干潟の再生などが大きな課題となっている。全体としては豊かな海を目指すこととしており、具体的には底質環境の改善や科学的データの蓄積及び順応的管理などが盛り込まれている。高度成長後の様々な施策の結果、水質等は少し改善されたが、生態系や水産資源の回復には至っていないということで、環境省では閉鎖性海域全体でより積極的に環境改善を目指すという里海的な考え方が大きな方針となっている。現在国レベルでは、瀬戸内海環境保全基本計画の検討中であるが、ここにできれば本日のような議論を反映していきたい。そして次のレベルとして、府県計画の策定となるが、そういったところにどのように反映できるか議論していきたい。

大きなテーマとなっている里海とは、より積極的な環境保全のスタイルである。水質管理から生態系管理への大転換、人と海との関係の再構築、産官学民の新たな役割と連携、沿岸域の総合的管理への配慮、縦割り行政・規制を中心とした行政からの積極的な行政への脱却といった点に留意しながら、本日の議論を進めていきたいと考えている。

■ 個別発表 13:45～16:00

(1) 陸域からの栄養塩供給管理方策

京都大学名誉教授 藤原 建紀

本研究では、①海域に入る流入負荷量は減っているのか、②海域に入る窒素・リンは無機態であるのか、③負荷が海域に入ってから海の水質の経年変化を調べた。今回は、窒素を中心とし、また「平成以降の海の変化」に着目した発表を行う。

全国の閉鎖性海域における全窒素 (TN) の変動をみると、ほぼすべての海域で経年的に減少していた。ところが COD については、経年的にはほぼ横ばいで、減少していなかった。陸域からの負荷量は、TN、全リン (TP) とともに経年的に大きく減少していた。また、負荷量削減によって、海域の窒素、リン濃度が低下していた。しかし、海域の COD は減少しておらず、むしろ増加傾向であった。形態別にみると、粒状態 COD は減少しているのに対し、溶存態 COD は増加しており、このため合計の COD (有機物量) は微増であった。窒素の成分をみると、TN と DIN は経年的に減少している一方、有機態窒素には大きな変化はみられなかった。

陸域からの窒素・リン負荷量削減のシナリオで、海域の粒状有機物の減少はシナリオ通りであった。一方、溶存有機物の増加はシナリオでは想定されていなかった。溶存有機物が増加すると、分解時に酸素を消費する、溶存有機物生成時に窒素を使用するので DIN の枯渇が起こる、溶存有機物は高次生産者の餌となりにくいといった問題が生じる。

全窒素の分布をみると、港湾部では依然高濃度であるのに対し、沖合では貧栄養化しており、港湾部に栄養塩が偏在している状況であった。

以上の研究成果を踏まえた提言として、まず栄養塩が陸から海に出ていく部分である沿岸帯を改善する必要がある。沿岸帯が昔とは大きく変わっており、非常に強い閉鎖性になっている。次に、貧栄養の海域で有機物がどのように作られるか不明な部分があり、解明する必要がある。ただし、解明には時間がかかるので、十分なモニタリングを実施したうえでの改善施策の試行が必要である。最後に、現在の COD の A 類型水質基準は厳しすぎるため、有機物の指標を COD から TOC に切り替えるときに、もっと現実的な基準値に変更した方がよいと考えている。

Q : (元兵庫県職員 奥野氏) 海水中のフラックスはどうなっているか。

A : (藤原) 収支等を検討する場合、フラックスの検討は必要である。瀬戸内海におけるフラックスは、環境省が「中長期ビジョン」等でモデルを使用し検討している。本発表は、現在問題となっている窒素について、平成になってからの変化が分かるように示した。

Q : (西二見漁協 山本氏) 今回の発表では、流入負荷の削減によって、海の生産性にとって必要な窒素 (DIN) が減少していると理解しているが、それは事実か。

A : (藤原) 減少しているのは事実だが、多ければいつもよいというわけではない。1980 年以前の昭和の海では富栄養化が進んでいたため、有機物を減らす必要があり、負荷量を減らすことは有効であったと考えている。

Q : (山本) 先生方からみると昔の海は汚れていたかもしれないが、漁業者からみると魚やワカメがたくさん捕れていた。結果的に窒素やリンを規制したことは、海にとって正しいことだったの

か疑問に感じている。

A：(藤原) 本日の他の発表等も併せて議論していくことが望ましいと思うが、海域に必要な栄養レベルについては関係者間の議論が必要と思う。

## (2) 栄養塩循環を高める干潟・藻場の造成等

香川大学農学研究科 教授 多田 邦尚

瀬戸内海では、埋立が進み、海岸線が鉛直護岸で固められてきたことによって、干潟や藻場が失われており、最も古いデータと比較すると、半分以下にまで減少している。藻場は魚類の産卵場、仔稚魚の生育場であり、このような場所が失われた状態で水質だけを改善しても魚は戻ってこない。

1年目に実施した文献調査では、干潟・藻場の栄養塩循環を定量的に追跡した研究例はほとんど確認されなかったため、2年目の公募研究では、香川県の藻場・干潟を対象とした栄養塩循環の研究を採択した。その結果、干潟では河川から流入した懸濁物質が一時的にトラップされたのちに無機化され、海域へ流入することが分かった。藻場については、窒素・リンともに流入量と流出量に大きな変化はみられず、アマモが海水中よりも堆積物中から栄養塩を吸収している可能性が示唆された。

以上の結果等を踏まえ、①干潟は有機物分解の場と認識すべきであること、②藻場における栄養塩循環では、藻場と沖合域間の栄養塩交換よりも、藻場の堆積物からアマモへの栄養塩吸収が大きいことが示唆されており、さらなる研究が必要であること、③干潟・藻場の生態系サービスの大きさを評価するための研究が必要であること、④干潟と藻場の機能は全く異なっている点について理解を深め、全く別のものとして環境保全を考えるべきであること、⑤「栄養塩管理と豊かな海は、浅場の回復から」をキャッチフレーズに、国と地方公共団体は今後の栄養塩管理、里海創生を進めるべきであることを提言する。

## (3) 海底からの溶出栄養塩の定量化と制御法

大阪工業大学工学部環境工学科 教授 駒井 幸雄

本研究は、海底から溶出する栄養塩量の把握とその制御方法について提案することを目的として実施した。

1年目に実施した文献収集では、底質から溶出する栄養塩の定量には、おおむね①コアインキュベーション法、②ベルジャー法、③数学モデル法が用いられているが、調査ごとに結果のバラつきが大きく、結果の比較は難しいことが分かった。

そこで、2年目の公募研究では、統一した調査マニュアルを用いることとした。その結果、大阪湾と播磨灘における底質からの栄養塩溶出量を算出したが、実測値と数学モデルによる結果を比較したところ、数学モデルによる結果は実測値よりかなり大きな値となっており、現在のところは実測データでの評価を優先せざるを得ない状況であった。また、溶出速度を明条件と暗条件で測定すると、明条件では溶出速度が抑制された。これは、近年の瀬戸内海における透明度の増

加により、底質が明条件化することで、底質からの栄養塩溶出が抑制されている可能性を示唆している。

本研究の結果を踏まえて、底質からの栄養塩溶出量を測定するためには、共通の調査マニュアルが必要であることと、瀬戸内海全域の底質を把握するために「瀬戸内海環境情報基本調査」と同等に評価できる調査として、栄養塩溶出実験を加えた「第4回瀬戸内海環境情報基本調査」の実施を提言する。

#### (4) まとめ

特定非営利活動法人瀬戸内海研究会議 理事長（九州大学特任教授） 柳 哲雄

瀬戸内海では、高度経済成長期に富栄養化が進行し、赤潮が頻発していた。そこで、1978年よりCODを対象とした総量規制制度が開始され、赤潮件数はピーク時の約300件から100件程度まで減少したが、以降は横ばいの状態である。赤潮が発生している場所ほどDOも低くなる傾向があり、1981年と2000年の底層DOを比較すると、瀬戸内海全体での分布状況には大きな変化がみられていない。TN、TP濃度は、2000年以降急激に減少しており、これは総量削減による陸域からの流入負荷量減少に加えて、透明度の上昇による海底からの栄養塩溶出の抑制によると考えている。漁獲量については、2000年以前はTN、TPが横ばい傾向であったにもかかわらず漁獲量が減少した。現在のTN、TPのレベルは昭和30年代と同程度であるが、このときは現在よりも漁獲量が多かったことを考えると、栄養塩濃度を増加させても漁獲量は回復しないと考えている。瀬戸内海のTN、TPは全体の約5割が外洋起源であり、陸域起源は1割程度である。総量削減の効果は陸域起源の栄養塩に現れるので、効果が明瞭にみられなかったのではないかと考えられる。海域全体をカバーする広域総合水質調査結果と沿岸域の状況を示す公共用水域水質測定結果を比較すると、後者では経年的にTN、TPともに減少傾向であり、沿岸域では総量削減の効果が現れていると考えられる。

現在、沖合で貧栄養化している要因には、栄養塩が岸近くに偏在し、滑らかに輸送されていないことが考えられる。その要因には、①ダムの増加により河口循環流が弱くなり、TN・TPが停滞すること、②沿岸部に防潮堤・防波堤が建設され、海水交換が弱くなったこと、③浅場の消失により、TN・TPを体内に同化する仔稚魚が少なくなったことが挙げられる。

栄養塩濃度と生物生産性の関係をみると、1990年代に大きく生物生産性が低下しており、これは貧酸素水塊により生態系が崩壊し、物質循環が変化したことによると考えており、現在はさらに栄養塩濃度が低下している状態である。個人的には、栄養塩濃度を増加させても漁獲量は回復せず、逆に濃度をさらに低下させることで貧酸素水塊が解消してレジームシフトが起こり、生物生産性が増加するのではないかと考えている。その理由としては、一次生産には無機態窒素・リンが必要であるが、浅場の減少により、有機態から無機態への変換が行われにくくなっていることが挙げられる。

Q：(明石浦漁協 戎本氏) TN・TPを漁獲量の指標としているが、DIN、DIPを用いるべきではない

か。また、栄養塩がさらに減少すれば魚は増えるはずだという話だが、

A：(柳) DIN、DIP はデータが取得されておらず、検討には利用できない。ただし、DIN・DIP は TN・TP の 1 割程度なので、TN・TP を測定すれば DIN・DIP の大体は分かる。

Q：(戎本) 高度経済成長期に富栄養化が進んだのは、産業によるところが大きく、陸域起源の栄養塩が全体の 1 割程度で、影響が小さいというのは違うのではないか。

A：(柳) 全体の 1 割となっているのは現在の流入量で、海底からの溶出量も元は陸域起源である。つまり、外洋起源を除いた 5 割程度は、元々は陸域から流入したものである。

Q：(戎本) 栄養塩がさらに減少すれば魚が増えるはずだという話は、漁業者としては納得がいかない。

A：(柳) 現在の状況では、有機態窒素が増えており、無機態に変換する場としての浅場がなければ、栄養塩をいくら増やしてもノリは栄養塩を利用できず、大型の珪藻類等に消費される。このような物質循環を変えない限り、漁業者が望むような豊かな海はできない。

Q：(戎本) 物質循環のバランスが崩れていることは我々にも理解できる。我々も栄養塩だけではなく、藻場・干潟の造成等も並行してやっていく必要性は理解している。しかし、栄養塩管理も重要であり、栄養塩を増やしても漁獲量は増えないという言い方には疑問を感じる。

Q：(兵庫県水産技術センター 反田氏) 播磨灘では、90 年代後半から急激に漁獲量が減少した。その間に貧酸素水塊が発生していたかというそうではない。漁獲量減少の原因をすべて貧酸素水塊に求めることはできるのか。また、陸域からの負荷を増やしても漁獲量は増えないという話であったが、少なくとも富栄養化進行期には、陸域負荷が増えて漁獲量も増えた。負荷の削減期には漁獲量も減少している。海底溶出も含めて、陸域からの負荷が漁獲全体に影響してきたのが事実ではないか。

A：(柳) 貧酸素水塊が形成されたといって、すぐに漁獲量が減少するわけではない。言いたいことは、生態系を含めた物質循環の構造が変化してしまっていることであり、栄養塩と漁獲量が 1 対 1 で対応するわけではない。現在の状態で栄養塩を増やしても、1980 年代のような状態には戻らない。

Q：(反田) 貧酸素水塊のレベルにもよると思うが、自然の生態系の中でも水塊構造はあり、内湾ではある程度の貧酸素状態は生じるのではないか。

A：(柳) そのようなことはない。昔の播磨灘には貧酸素水塊は生じていなかった。

## ■ 総合討論 16:10～16:50

コーディネーター：松田 治

パネリスト：藤原 建紀、多田 邦尚、駒井 幸雄、柳 哲雄

(松田) 現状は知事・市長会議の委託研究の途中段階であり、会場の皆様からも、さらに整理すべきことやまとめの方向性等ご意見をいただきたいと考えている。まず、発表者から内容に関する

る補足説明や他の発表者への質問等あれば伺いたい。

(藤原) 豊かな海を目指すといっても、目標年次をいつに設定するかは大きな問題である。例えば、昔は海岸が開放的であり、し尿も沖合に直接投棄されていたため、沿岸域に栄養塩は停滞しなかった。しかし現在は海岸が埋立地等で覆われており、下水が河口域に放出されているため、栄養塩の停滞が生じる。このように、社会構造が大きく変化しているため、富栄養化以前の海を目標とすることは科学的に適切でないと考えており、現在の物質循環の中で議論していくべきである。また、データもなるべく最新のものまで整理していく必要がある。

(多田) 今回の発表では、豊かな海は栄養塩濃度の絶対値だけでなく、浅場の回復からということ提言したが、具体的に藻場・干潟が復活した場合にどのようなメカニズムで、何割くらいの漁獲量が回復するかは分からない。栄養度が増加し、富栄養化が進行すると、生物多様性や生産量は増加し、ある一定の栄養度で極大値を持って、以降は減少に転じる。この現象が、すべて貧酸素水塊によるかということ、それは違うかもしれないと思う。また、溶存有機物については、中身が全く分からないものであり、有機物から栄養塩への変換はそんなにはないと思っている。このように、詳細のわからない溶存有機物を議論しても、前には進まないのではないかと。

(駒井) 初めに行った文献検索では、過去の研究成果に違いがありすぎるのが分かり、基準をどこにおけばよいのかわからない。公募研究については、主に現状把握を目的とし、典型例として大阪湾と播磨灘における調査を実施した後に、成果を瀬戸内海全体へ展開していくことを考えていた。瀬戸内海全域を実測するのは困難なので、現実的には数学モデルを使うことが合理的だと考えていたが、実測値と数学モデルには大きな違いが生じており、数学モデルで瀬戸内海全体を評価することは非常に難しくなってしまった。底質からの栄養塩溶出量を把握するためには、現状を把握する必要があり、また実測によらざるを得ない状況であるため、今回の提言に至った。

(松田) ここからは会場からの質問を承りたい。

(元兵庫県職員 奥野氏) フラックスの問題についてであるが、柳先生の発表では、大気からの負荷量は窒素が10%、リンが5%となっていたが、どこのデータなのか。

(柳) 各府県の公害研究所で実施されたデータを使用している。論文もあり、スライド内で引用している。

(松田) 大気からの負荷量については、報告書の文言で触れるようにする。

(山口大学名誉教授 中西氏) 大気からの負荷量については、学術誌「公害と対策」に論文がある。そこでは、柳先生がおっしゃられたことと同様に、大気からの窒素負荷は10%程度と見積もっていた。

(「海洋の空」 赤井氏) 漁獲量と栄養塩の補給について、現在は河川水より下水処理水の方が多く流入している。下水処理水は塩素滅菌を施しており、瀬戸内海にも影響があると考えている。また、藻場については、それに代わるものもあると考えている。

(西二見漁協 山本氏) 藻場・干潟が埋立によって減っており、豊かな海を取り戻すためには、栄養塩の補給よりも藻場・干潟の再生が先であろうとの話であった。藻場・干潟を戻すためには、

具体的にどのぐらいの時間と費用がかかるのか。

(多田) 時間や費用については想像もつかない。ただ、藻場・干潟面積はデータを取り始めてからすでに半減しており、これを元に戻すことは不可能である。現在多く存在している鉛直護岸を何とかすることから始めるしかないと思う。例えば新関西国際空港の埋立地では、鉛直護岸にせずに段を設けており、このような場所に藻類を生育させることなどが考えられる。

(山本) これから我々が豊かな海を目指すには、栄養塩の補給のことで藻場・干潟のことで両方大事だと思う。我々も栄養塩だけがすべてではないと思っているが、大きなウエイトを占めていることなので、「栄養塩が増えても魚は増えない」というような断言は避けていただきたい。

(兵庫県漁連 山口氏) 環境省の政策は、赤潮の発生件数がきっかけとなっていたはずである。赤潮の発生件数といっても、規模や時期は異なっており、すべてをまとめた単なる件数を政策の基本としてよいものなのか伺いたい。

(松田) 赤潮発生件数はよく利用されるが、研究者サイドとしても、赤潮の継続期間、空間的な大きさを示す規模などによって、生態系にダメージが及ぶことは十分理解しており、赤潮発生件数のみを必ずしも指標として考えていることではないと思う。

(柳) 今回の発表スライドで示した **Red tide index** とは、「赤潮の継続日数×面積」によって集計し直したものであり、より生物量に近い指標を用いている。

(山口) 過去に瀬戸内海漁業調整事務所で集計した赤潮については、規模も種類も関係なく集計されていると思うが、このようなデータも整理しなおしたのか。

(柳) 2013年に発表した論文では、過去のデータも台帳レベルから整理しなおしており、元の台帳からは面積等の情報が得られる。

(松田) 利用できるデータに関しては、ご希望に沿うような解析が進みつつあるという状況を理解していただければと思う。

(山口) 我々としては、瀬戸内海3万人の漁業者が生きていけるような豊かな海にしていきたい。その中で栄養塩を減らすことが漁獲量の回復につながるという話で、これを実施することによって漁業者の生活できない海になってしまうことが怖いとおっしゃったが、そこは慎重に取り扱っていただきたい。

(兵庫県水産技術センター 反田氏) 今回の発表を聞く限り、我々としては、浅場の回復と栄養塩管理をセットで考えていきたい。浅場の回復については、間違いなく良いことだと思うが、栄養塩管理については生態系の不確定な要素が非常に多いので、試行しながらマネジメント管理を進めるというやり方でぜひ進めていただきたい。また、駒井先生の提言にあった「第4次瀬戸内海環境情報基本調査」の実施については、ぜひ報告書の提言に盛り込んでいただきたい。

(山口大学名誉教授 中西氏) 水質の指標としていまだにCODが使用されているのは、過去からのデータの継続性を重んじるという経緯がある。CODについては、やはり問題があるので、勇気を持ってTOC等に変更することを主張していただきたい。無機態窒素やリンについて問題となっているが、かつての水産サイドではアンモニア態窒素等を扱っており、全窒素・全リンという考え



方はなかった。それが、環境サイドで全窒素・全リンに統一され、現在では結果的に裏目に出ており、態別のデータが乏しくなっている。ぜひ、今回の提言では、態別の扱いに戻すことを提言していただきたい。生物生産については、低次では物理化学的な要因で表現できるが、漁獲量については人為的な要因が加わるため、社会的要因の解析が重要で、それらの要因を加味して評価する必要がある。

（松田）最後の指摘については、今回の研究テーマには入っていない部分であるので、今後の展望等で検討させていただきたい。

■ 閉会 16:50